

木材の老化に関する研究 (第1報)

法隆寺建築古材の機械的性質

小 原 二 郎 *

Studies on the durability of wood — I

Mechanical properties of old timbers. (Horyuji Temple construction
timbers *Chamaecyparis obtusa* ENDLICHER)

By

JIRO KOHARA

I 緒 言

木材は一般に他の構築材料に比して、耐久性の乏しい材料と考えられ易いけれども、良好な条件の下に保護せられた場合には、よく長期の使用に耐え、その生命は頗る長いものである。このことは千余年の歳月を経た今日に於て、尙、嚴然と輪奐の美を伝える法隆寺、正倉院を始め、幾多の木造建造物によつて明かに証明されているところである。この様に長い歳月を経過した木材を、同種の新材と比較すると、その材質の上に何等かの差異の見出されるのが普通である。これは古材が、たとえ風露に直接曝されることなく、良好な条件の下に保存せられていたとしても、長期に亘る極めて微細な変化が累積して、漸次、木材を変質せしめたからであると考えられる。かかる長期の材質変化の過程を、こゝでは、木材の老化と呼ぶこととした。すなわち、木材老化の現象は、一種の風化とも言うことが出来るであろう。

長い歳月の経過が木材に如何なる影響を及ぼすかについて探求することは、木材理学上からも興味深い問題であるが、更にこれは、木材を主要構築材料として生活し、且、世界の文化史上に誇るべき幾多の木造遺構を有する吾国にとつては、頗る重要な事項であると言わねばならぬ。

木材老化の現象は、複雑な因子の綜合作用の結果によるものであろうから、単に一面からの観察のみを以て、これを論断することは許されないけれども、古材の機械的性質に関する究明は、木材老化の問題に何等かの解明の端緒を与えるものと考えて差支ないであろう。かかる見地から、筆者⁽¹⁾は先に、法隆寺建築古材について、強度に関する若干の試験を行い、古材の強度的特性について報告したが、その後、更に、2、3の補足的試験を実施したので、こゝにその結果を取纏めて報告することとした。若し、この試験が、国宝保存工事の実施上、何等かの参考となり得るならば、筆者の望外の欣びとするところである。

本試験の実施に当り、貴重な資料を提供せられた法隆寺国宝保存工事々務所、並に奈良産ヒノキの入手に盡力を賜つた奈良営林署に対し、深甚の謝意を表する次第である。

* 西京大学農学部森林利用学研究室

Ⅱ 試 験 材

古材の材質調査に当つて考慮を要する点は、材質そのものは、適当な材料さえ得られるならばそれ程困難ではないが、木材の長期に亘る老化の実態を究明することは極めて難かしいと言ふことである。その理由とするところは、周知の如く、木材は産地により、立地により、各個樹により、また、樹木の部分によつて材質に差異があつて必ずしも同じではない。従つて、古材の調査に当つては、木材の使用当初の材質を明かならしめる確実な資料のない限り、長い歳月に亘る材質の変化を知ることは、殆んど不可能なことである。然し乍ら、今日、そうした資料を得ることは到底望み難いことと言わねばならぬ。従つて、これが研究のためには、古材の最初の材質を想定して、出来得る限り近似的な条件を有する材を選び、これについて比較検討するより外に方法はないであろう。それ故、本試験に於ては古材の産地を推定して、これと同地産の新材の中から、古材に近似的な条件を有する資料を選ぶこととした。

法隆寺伽藍の日本文化史上に於ける重要性については、今更こゝに贅言を要しないところであるが、これ等建造物の主要構築材料は言う迄もなく木材で、しかも、その殆んど全部がヒノキである⁹⁾。然し乍ら、これ等の材が、当初何処より運搬せられたものなりやについては、何等の記録も残つていない。この古材の産地については、先に三好博士¹⁰⁾はその材質を調査されて、近畿地方を去ること遠からざる地域のヒノキ材であろうと判定されている。また、古文献上の記録によつて、古代のヒノキの分布を研究された柴田氏¹¹⁾の論文によれば、奈良時代の初期頃迄は、大和地方には相当量のヒノキの生産された事が記されている。更に、奈良時代に於ける寺院建立用材の運搬事情については、福田博士¹²⁾の研究がある。筆者は、これ等の研究と、自己の材質観察の結果から判断して、当初の建築用材の大部分は、恐らく、奈良盆地、若くはそれより余り遠くない地域に於て産したヒノキ材を以て充てたであらうと推測するものである。それ故、本研究に於ては、古材の比較材として奈良産のヒノキを選ぶこととした。

また、現在実施されつゝある法隆寺の保存工事に於て、腐朽した古材の補充材として用いられているのは、大部分が木曾産のヒノキである。それ故、この材質をも同時に調査して、古材の比較材たらしむると共に、保存工事实施上の参考に資せんとした。以下これ等の材の詳細について記述する。

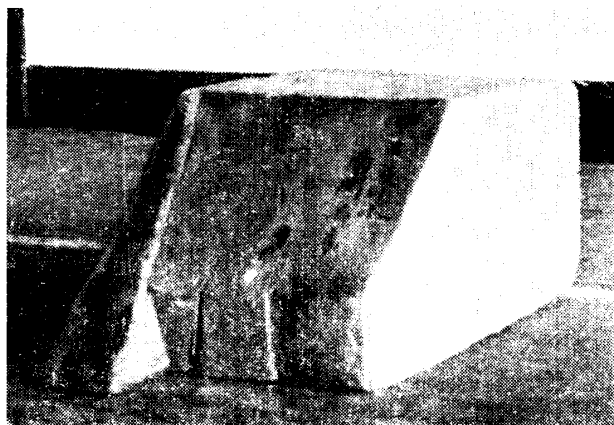
古材の供試木は、西院五重塔四層の通肘木の鼻として用いられていた断面約24×30cmの大きな構造材4個である。その外観は第1図の写真に掲ぐる如くである。法隆寺伽藍の構築に使用されているヒノキ材の中には、過去数度の修理の際に取替えられた部分もあるので、国宝保存工事事務所の調査によれば、構築材の個々について、比較的な古さの判断は出来ても、確実に創建当初のものと判定し得る材は、割合に尠いとの由である。幸にして、本研究には工事事務所の御好意により、創建当初のものと判断される材を使用することが出来た。これ等の短柱は、何れもその表面層の2mm程は風化していたが、それより内部は、肉眼的には、木肌の色が褐色を帯びている点を異にするのみで、その他の点には何等の顕著な差異も見出されなかつ

た。特に注意を惹いたのは、これ等古材が千余年を経た今日に於て、尙、ヒノキ特有の馥郁たる木香を保つていたことで、試験片の製作に当つては、千余年前の木香に、法隆寺創建当初の盛んな傍を偲ぶことが出来た。

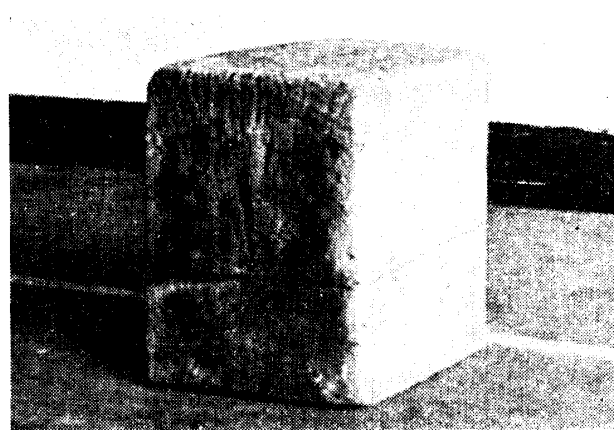
比較のために用いた奈良産のヒノキの新材は、奈良市春日山裏の地獄谷から伐採したものである。樹令約60年、直径30cmの健全木で、略々胸高附近の玉切材を使用した。

木曾産のヒノキは、長野縣西筑摩郡三股管林署管内の材で、樹令約100年、直径40cmの健全木で、地上高2.5mの所より玉切られた長さ2mの丸太材である。

試験片はこれ等の材の心材から採取し、何れも昭和24年10月迄に木取して室内に堆積し、25年9月迄12ヶ月間乾燥せしめ、完全な気乾状態に達したる後、試験に着手した。



第1図 A 供試古材



B 供試古材

Ⅲ 試験の種類及び方法

試験は下記の3項目に分けて実施した。

- 〔Ⅰ〕 各種強度の測定
 - 〔Ⅱ〕 含水率と強度との関係
 - 〔Ⅲ〕 比重、気乾含水率、収縮率の測定
- 以上の各々について、試験方法を記載すれば次の如くである。

〔Ⅰ〕 各種強度

強度試験は、圧縮・曲げ・衝撃曲げ・硬度・剪断・割裂の6種について実施した。その方法は日本標準規格木材試験法に準拠した。使用した試験機はブムスラー型4疋木材万能試験機である。

〔Ⅱ〕 含水率と強度との関係

木材の強度に最も大きな影響を及ぼす因子の一つは含水率である。それ故、古材及び新材の強度が、含水率の変化によ

つて、如何に影響せられるかの関係を探究することは、両材の強度的特性を一層明瞭ならしめるものと考えられたので、本項目について試験を行つた。

強度試験の種類は、圧縮・曲げ・衝撃曲げ、の3種類とし、試片は燻乾状態から繊維飽和点を超ゆる範囲に亘つた数段階のものについて試験した。これ等含水率の異つた試験片を得るためには、数個のデシケーターの底部に、濃度を異にせる硫酸及水を入れ、その上部に試片を封入して室内に約4ヶ月間放置した。各試験片の含水率は、試験後試片の破壊部に成可く近い部

分から、約2cm立方の材片を採り、これによつて測定した。

〔Ⅲ〕 比重、気乾含水率、吸縮率

（1） 比重の測定

$$\text{絶乾時比重 } S_0 = \frac{W_0}{V_\phi}$$

W_0 : 絶乾重量

V_ϕ : 試験時に於ける供試片の容積 (cm^3)

（2） 含水率の測定

$$\text{含水率 } \phi = \frac{W_\phi - W_0}{W_0} \times 100 \%$$

W_ϕ : 試験時の重量

W_0 : 絶乾時重量

（3） 収縮率の測定、試片は約3.5cm×3.5cm 厚さ5mm の柁目及板目の材片である。各材片の面上に、30mmの距離に標線を記し、絶乾時及飽湿時に於ける標線距離を、読取顕微鏡を以て1/100mm迄看読し、繊維飽和点時の長さに対する収縮率を算出した。

（4） 秋材率の測定、試片の木口断面に於て、年輪に直角な方向の秋材幅を1/10mm迄測定し、平均秋材幅を、平均年輪幅に対する百分率を以て示した。

Ⅳ 試験結果及び考察

〔I〕 各種強度

強度の検討には、各材を法正含水率の強度値に換算して比較するのが通常である。然し、含水率による強度の変化については、次節に於て検討されているので、ここでは実際的な利用の立場から、気乾含水率の強度について比較することとした。

（1） 圧縮試験

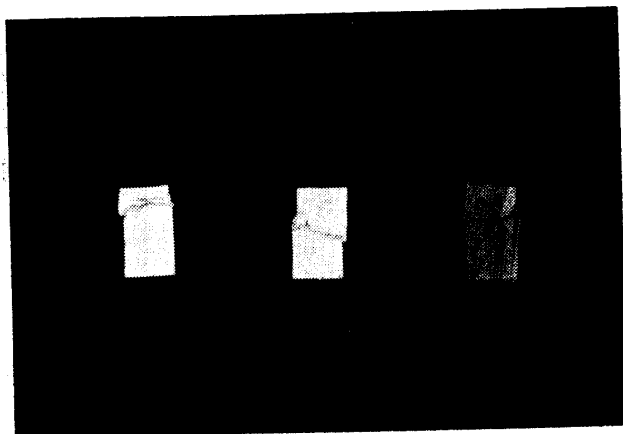
圧縮試験の結果は第1表に示す如くである。法隆寺材は454kg/cm²、奈良材308kg/cm²、

第1表 圧 縮 試 験 結 果

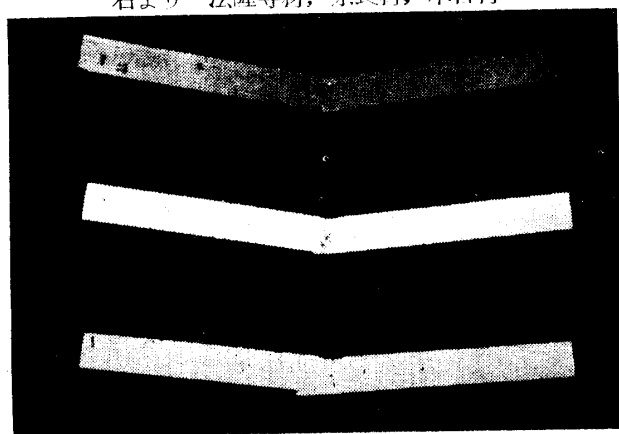
区 分	平 均 年輪幅 mm	秋材率 %	気 乾 含水率 %	絶 乾 比 重 ×100	圧 縮 強 度		圧 縮 形質商	破壊型	供 試 個 数
					強 度 kg/cm ²	比 率			
法 隆 寺 古 材	2.9	4	11.9	42.0	454	147	9.9	A 15 B 0 C 5	20
	2.0-4.1	2-8	11.2-13.1	38.0-45.8	374-515				
奈 良 産 檜	3.1	7	13.9	36.1	308	100	7.8	A 2 B 17 C 1	20
	2.2-4.4	4-12	12.4-15.2	34.4-40.6	258-342				
木 曾 産 檜	1.2	9	13.6	33.9	313	102	8.4	A 10 B 3 C 7	20
	1.0-1.3	8-10	12.5-14.4	33.0-35.0	300-333				

備考 各欄の数字は平均、最小—最大を示す

木曾材 313 kg/cm^2 で、奈良材を 100 として強度比率を示せば $147:100:102$ の割合となり、古材が圧縮強度に於て、両新材よりも約 50% も強いことを示している。これは古材の顕著な特性と見做すことが出来よう。縦圧形質商は $9.9:7.8:8.4$ となり、同様に古材の対圧優秀性を示した。



第2図 圧縮試片破壊型
右より 法隆寺材, 奈良材, 木曾材



第3図 曲げ試片破壊型
上より 法隆寺材, 木曾材, 奈良材

破壊型は第5図に示す如く A, B, C に分類したが、法隆寺材は全部が A 及 C 型であつて、破壊型から見ても、硬いと言う印象を受けた。奈良材はこれに反して、殆んど大部が B 型で、古材と明瞭な対照をなした。木曾材はその半数が A 型で、破壊型に於ては古材に近い結果を示した。以上の事情は、第2図の写真によつて、一層明瞭に理解されるであろう。

(2) 曲げ試験

曲げ試験の結果は第2表に示す如く、古材は 717 kg/cm^2 、奈良材 641 kg/cm^2 、木曾材 635 kg/cm^2 となり、その比率は $112:100:99$ である。両新材の値は殆んど一致し、古材はこれよりも 12~13% 大きくなつてゐる。曲げ形質商は $16.0:15.0:16.3$ となつて、木曾材が古材よりも少々大きい値を示した。次に曲げヤング係数については、古材は 91.300 kg/cm^2 、奈良材 71.500 kg/cm^2 、木曾材 85.100 kg/cm^2 で、

第2表 曲 げ 試 験 結 果

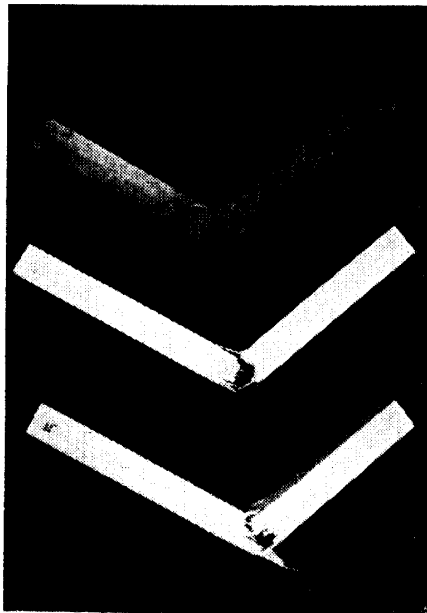
区 分	平 均 年輪幅 mm	秋材率 %	気 乾 含水率 %	絶 乾 比重 $\times 100$	曲 げ 強 度		曲 げ 形質商	曲げヤング係数		破壊型	供試 個数
					強 度 kg/cm^2	比 率		ヤング係数 $\text{kg/cm}^2 \times 10^4$	比 率		
法隆寺 古材	2.6 1.6-3.8	9 6-11	13.2 11.8-14.3	41.0 37.9-43.8	717 634-833	112	16.0	9.13 8.21-10.24	128	A 12 B 3 C 0	15
奈良産 檜	3.3 2.2-4.6	8 3-12	14.9 13.9-15.9	38.9 36.0-41.6	641 597-693	100	15.0	7.15 5.97-8.15	100	A 2 B 7 C 6	15
木曾産 檜	1.3 1.0-1.5	9 7-14	14.5 13.4-15.9	35.3 33.2-37.7	635 567-704	99	16.3	8.51 7.64-10.04	119	A 10 B 5 C 0	15

古材が最も大きく、その比率は 128 : 100 : 119 となつてゐる。新材の中で、木曾材は奈良材よりも大であるが、古材は両新材よりも 28~9% 大なる値を示している。

破壊型は第 5 図の如く A, B, C, の 3 種に大別することが出来た。古材は大部分が A 型であり、硬くて靱り少ない形状であつたのに反して、奈良材は殆んどが B 型及び C 型で、古材と対照的な結果を示した。木曾材は両材の中間的な形状のものが多かつた。これは曲げヤング係数からも想像されることであるが、破壊型は良くこれと一致した結果を示している。各材別試片の代表的な破壊状態は第 3 図に掲げた。

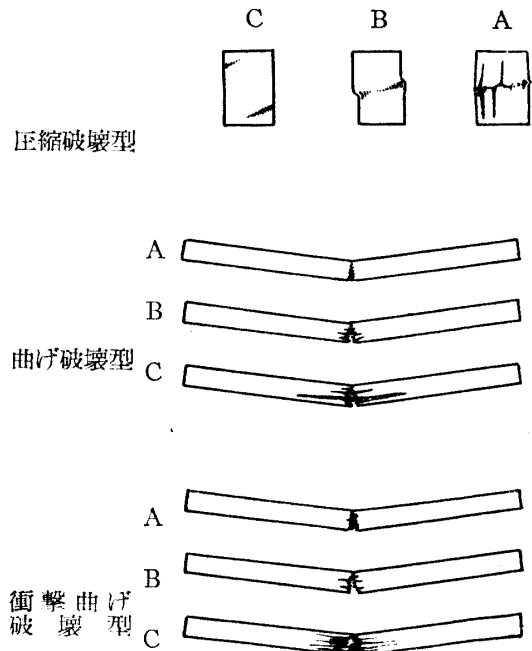
(3) 衝撃曲げ試験

衝撃曲げ試験の結果は第 3 表に示す如くである。衝撃吸収エネルギーは、古材 $0.26 \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{cm}^2$ 、奈良材 $0.46 \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{cm}^2$ 、木曾材 $0.53 \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{cm}^2$ となり、その比率は 57 : 100 : 115 である。木曾



第 4 図 衝撃試片破壊型

上より 法隆寺材、木曾材、奈良材



第 5 図 破壊型

第 3 表 衝撃曲げ試験結果

区分	平均 年輪幅 mm	秋材率 %	気乾 含水率 %	絶乾 比重 $\times 100$	衝撃値 吸収エネルギー $\text{kg} \cdot \text{m}/\text{cm}^2$	比率	動的 性質商	破壊型	供個 試数
法隆寺 古材	2.3 1.3-3.1	8 6-10	11.9 10.3-13.4	42.7 40.5-45.2	0.26 0.19-0.38	57	0.54	A 10 B 0 C 0	10
奈良産 檜	3.4 2.0-4.7	8 4-13	15.4 14.0-16.1	38.5 36.0-40.2	0.46 0.28-0.64	100	1.09	A 0 B 6 C 4	10
木曾産 檜	1.4 1.1-1.6	10 8-13	13.3 12.3-14.8	36.7 35.8-38.2	0.53 0.38-0.71	115	1.32	A 0 B 10 C 0	10

材は奈良材よりも少々大であるけれども、古材と新材とを比較するならば、古材は両新材の約半分の値を有するに過ぎない。これは顕著な対比を示すものである。

破壊型は第5図の如く A, B, C, の3種に分けたが、法隆寺材は悉くがA型に属し、その破壊型からも硬くして脆いことが想像された。これに反して、衝撃値の最も高い木曾材は悉くがB型であり、奈良材もまたB型及びC型で、破壊型に於ても古材は新材と著しい対照を示した。

(4) 硬度試験

硬度試験の結果は第4表の如くである。古材、奈良材、木曾材の硬度比は、木口に於ては126:100:97、柁目については134:100:98、板目については122:100:97で何れの面に於ても、古材は新材よりも約20~30%大となつてゐることが知られた。この様に古材の硬度が高くなつてゐるのは、圧縮強度、曲げヤング係数の増大の傾向と相関聯するもので、古材の特性を示すものと言ふことが出来よう。

第4表 硬 度 試 験 結 果

区 分	平 均 年輪幅 mm	秋材率 %	気 乾 含水率 %	絶 乾 比重 ×100	硬 度						供試 個数
					木口硬度 kg/mm ²	比率	板目硬度 kg/mm ²	比率	柁目硬度 kg/mm ²	比率	
法隆寺 古材	2.4 1.7-3.2	8 5-12	13.0 11.1-17.2	40.0 37.9-43.2	4.04 3.28-4.65	126	1.10 0.92-1.36	122	1.08 0.89-1.24	134	各 15
奈良産 檜	3.3 2.2-4.4	4 2-9	14.3 13.0-17.0	36.8 33.7-39.8	3.21 2.59-3.58	100	0.90 0.72-1.20	100	0.81 0.67-1.03	100	各 15
木曾産 檜	1.4 1.3-1.5	7 6-7	14.5 12.5-16.7	34.9 34.2-35.6	3.11 2.82-3.73	97	0.87 0.80-0.93	97	0.79 0.75-0.81	98	各 15

(5) 剪断試験

剪断試験の結果は第5表の如くである。奈良材、木曾材、古材の順で、その比率は100:88:82となつた。

第5表 剪 断 試 験 結 果

区 分	平 均 年輪幅 mm	秋材率 %	気 乾 含水率 %	絶 乾 比重 ×100	剪 断 強 度		剪 断 形質商	供試 個数
					強 度 kg/cm ²	比 率		
法 隆 寺 古 材	2.2 1.5-2.8	6 4-7	10.7 9.3-12.6	40.4 39.5-42.4	62 48-71	82	1.5	10
奈 良 産 檜	3.4 2.5-3.7	6 5-8	13.1 12.2-13.7	39.0 36.9-41.3	76 58-98	100	1.9	10
木 曾 産 檜	1.1 1.0-1.3	9 8-10	13.2 11.6-15.3	37.1 35.8-37.9	67 56-88	88	1.8	10

(6) 割裂試験

割裂試験の結果は第6表の如くである。剪断試験と同様の傾向を示し、奈良材、木曾材、古材の順で、その比率は100:94:71となつた。古材は新材よりも23~29%も低い値を示した。

第6表 割 裂 試 験 結 果

区 分	平 均 年輪幅 mm	秋材率 %	気 乾 含水率 %	絶 乾 比 重 ×100	割 裂 強 度		割 裂 形質商	供 試 個 数
					強 度 kg/cm	比 率		
法 隆 寺 古材	2.2 1.7-3.1	8 6-11	10.9 10.3-13.0	40.4 39.5-42.4	12 6-18	71	0.30	14
奈 良 産 檜	2.9 1.9-4.8	10 4-17	12.6 11.4-13.5	39.0 36.9-41.3	17 15-21	100	0.44	15
木 曾 産 檜	1.4 1.2-1.6	9 6-17	11.6 9.9-12.5	37.1 35.8-37.9	16 13-20	94	0.43	15

以上の各種強度試験の総合結果を第7表に掲げた。これを通覧するに、奈良材と木曾材とはその差異が僅少で、略々相似の性質を有するが、古材との間には顕著な差異の存することが認められる。これ等新材の数値を、既往の、ヒノキの強度試験の諸結果に参照するに、概ね標準的な数値と認め得るから、古材の機械的性質については次の如く推論することが出来るであらう。すなわち、1,300年を経過したヒノキは、その材質が硬くして強く、且つ剛くなるが、靱性は逆に減少して裂け易くなる傾向が認められる。このことは木材が年を経て、枯れれば枯れる程硬くなつて、粘り気が少くなると言う吾々の日常の経験をよく裏書するものである。

第7表 古材及び新材の各種強度 Various mechanical strength

区 分	気 乾 含水率 %	絶 比 乾 重 ×100	圧 縮 強 度 kg/cm ²	曲 げ 強 度 kg/cm ²	曲げヤング係数 ×10 ⁴ kg/cm ²	衝撃吸収 エネルギー kg.m/cm ²	硬度 hardness kg/mm ²			剪断 強度 kg/cm ²	割 裂 強 度 kg/cm
							木口 cross	柁目 edge	板目 flat		
timbers	moisture content	specific gravity	compression	static bending	young's modulus	impact bending				shear	cleava- bility
1 法隆寺 古材	12.3	42.2	454	717	9.13	0.26	4.04	1.10	1.08	62	12
2 奈良産 檜	14.6	37.5	308	641	7.15	0.46	3.21	0.90	0.81	76	17
3 木曾産 檜	13.8	35.0	313	635	8.51	0.53	3.11	0.87	0.79	67	16

1: old timbers. 2,3: new timbers

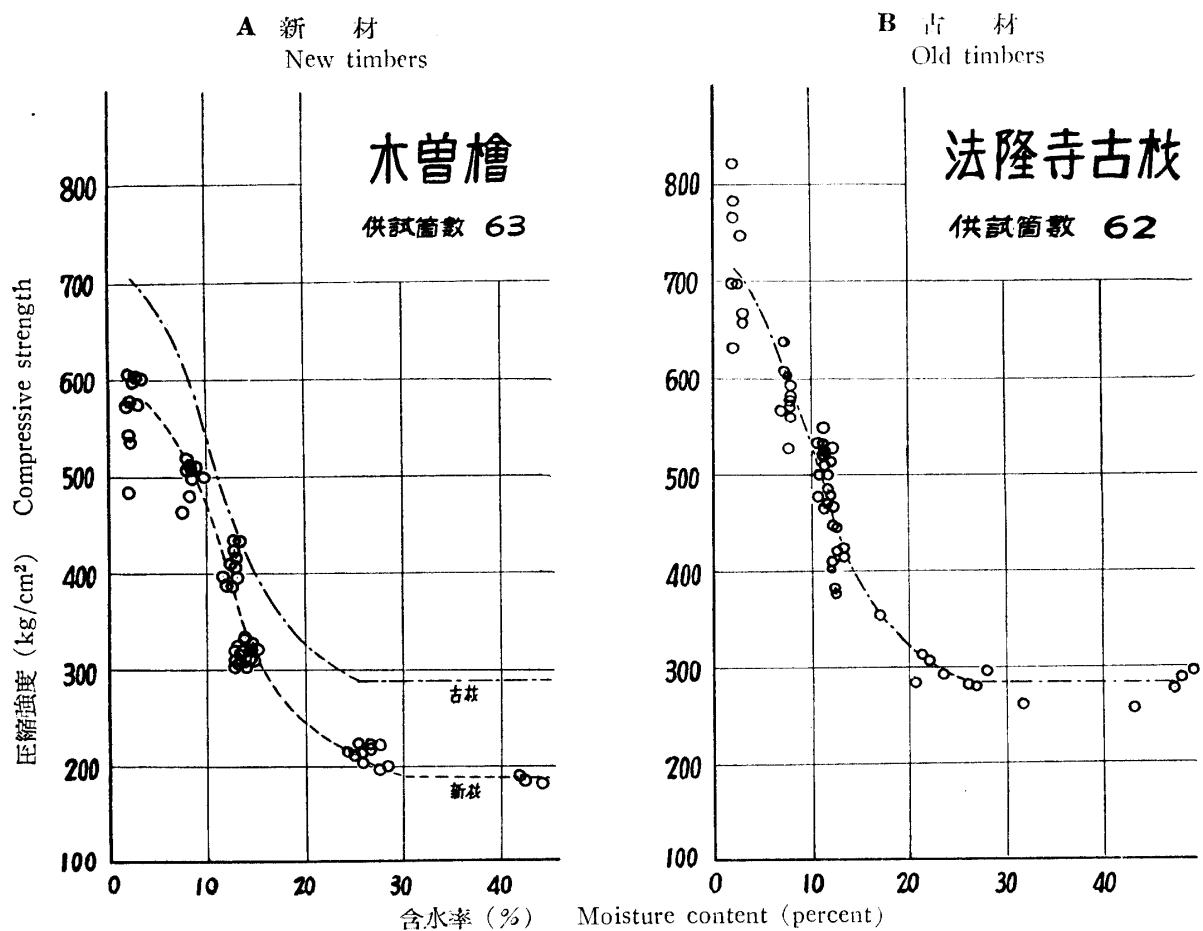
古材の強度については、先に V. G. Brunn¹⁾ が Berlin 市附近の Erkner にある Flaken 河に、約100年間架せられていた橋の基礎杭のマツ材について、圧縮及び曲げ強度、並びに曲げ弾性を調査して報告している。それによれば、マツの古材の諸強度は、正常材の数値と異なるところがないので、古材を他の目的に轉用しても何等差支ないと述べている。従つて、木材の静的強度が歳月の経過によつて低下しないと言う事実は、ヒノキのみならず、他の材についてもまた、同様に当嵌めて考えることが出来ると思われる。

〔Ⅱ〕 含水率と強度との関係

本試験には、古材の比較材としての新材には木曾材のみを用うることとした。その理由は、〔Ⅰ〕の試験結果によつて、古材と新材には機械的性質の上に於て、かなり顕著な差異が認められたけれども、新材相互間の相異はこれに比して僅少であつたので、比較材としては、新材の何れか一方を用うれば、その目的は達し得ると考えたからである。また、木曾材を選んだのは、奈良材よりも稍々古材に近い結果を示したので、木曾材と古材との差異は、奈良材には充分適用出来ると判断されたためである。

(1) 圧縮試験

圧縮強度——含水率の関係を図示すれば、第6図A及びBの如くである。これによれば、絶乾状態から繊維飽和点に至る迄は、含水率の増加に伴つて、圧縮強度は曲線状に低下し、繊維飽和点を超えると、水分の増加は最早強度に影響しないという木材の一般的傾向は、古材についてもまた、新材と同様に当てめ得ることが知られた。而して、両材の、強度——含水率曲線を併記したA図によつて容易に理解し得らるゝ如く、古材は各含水率に於て新材よりも、常に約15~35%も高い値を示している。先に述べた如く、この様に古材の圧縮強度が大となつてい



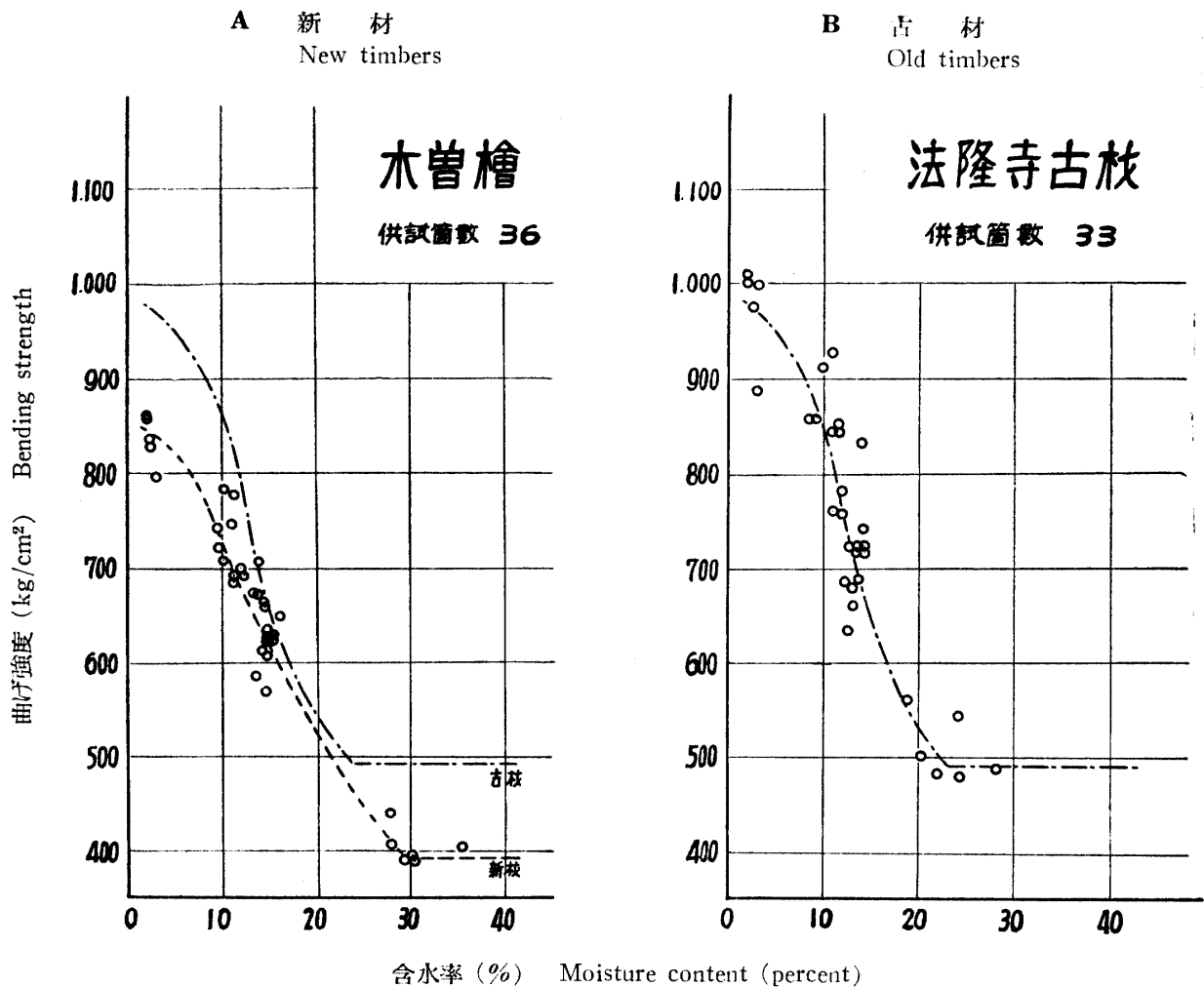
第6図 圧縮強度と含水率の関係
Relation of compressive strength and moisture content

ることは、古材の特徴として注目すべきことである。

尙、圧縮強度——含水率曲線によつて繊維飽和点を求めれば、新材30%，古材26%となつた。この試験の供試個数は各63個宛である。法隆寺材は瑕疵のため1を除外した。

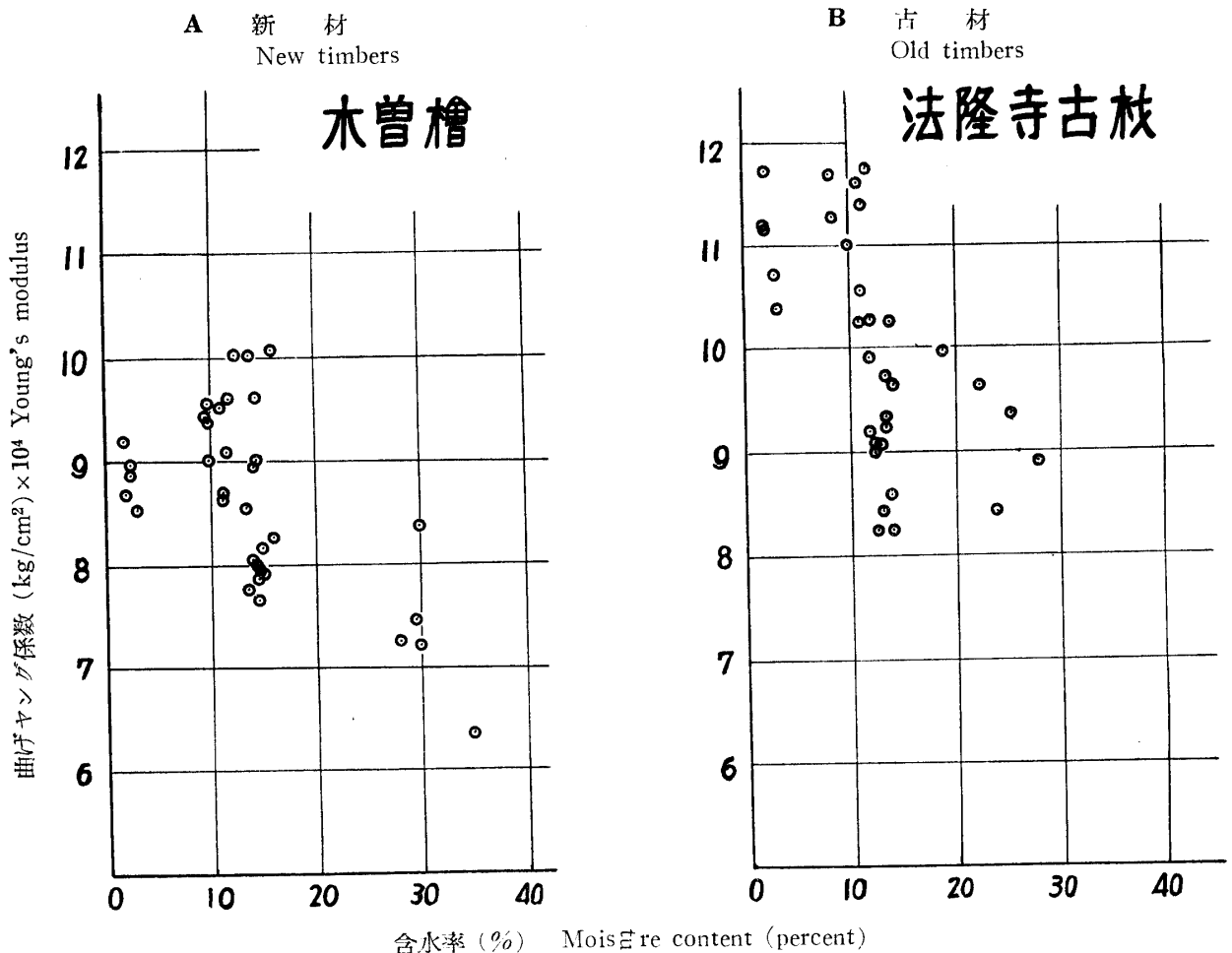
(2) 曲げ試験

曲げ強度——含水率の関係を図示すれば、第7図A及Bの如くなる。この結果も圧縮の場合と同様に、含水率の増加に伴つて強度が低下し、繊維飽和点を超えると一定となると言う木材の一般的傾向が、古材についても当嵌め得ることが知られた。また、古材の強度は新材よりも常に大であるが、その差異は5~20%で、圧縮の場合ほど大きくはない。これ等の曲線から繊維飽和点を求めると、新材28%古材24%となつた。これは圧縮試験の結果から求めた数値と比較して、何れも、2%小さい値を示している。その何れを以て繊維飽和点となすべきやについては、尙、検討を要するものがあるが⁽⁴⁾⁽⁵⁾何れを探るにしても、古材の繊維飽和点は新材のそれより、約4%低下していると考えて差支ないであろう。この繊維飽和点の低下している点は、気乾含水率の低いことと共に、古材の材質の一つの特徴として挙げる事が出来る。



第7図 曲げ強度と含水率の関係
Relation of bending strength and moisture content

曲げヤング係数と含水率との関係は第8図の如く、明かな曲線は求め難いが、含水率の増加に伴うヤング率の低下は、古材の方が新材よりも大きい傾向にあることは認め得る。このこと



第8図 曲げヤング係数と含水率の関係
Relation of Young's modulus and moisture content

は、含水率の増加による剛性の低下率は、古材の方がより大であることを意味している。

曲げ試験の供試個数は、木曾材は36個であつたが、法隆寺材は材料の都合上34個とした。その中1は不整のため除外した。

(3) 衝撃曲げ試験

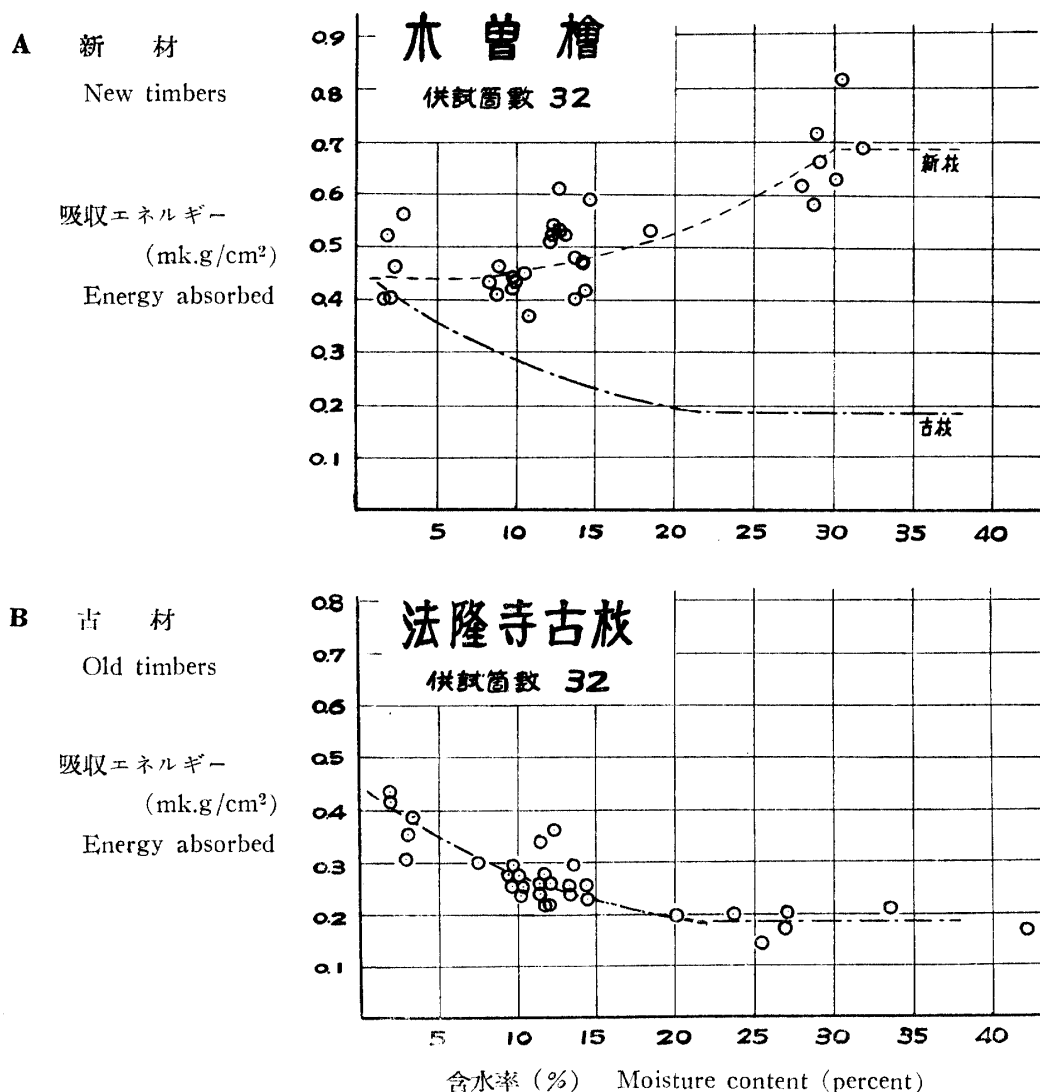
衝撃吸収エネルギー——含水率の関係は、第9図A及Bの如くである。木曾材は含水率の増加に伴つて吸収エネルギーが増加する。これは木材の一般的傾向に一致するものである。然し法隆寺材では逆に、その吸収エネルギーは減少している。すなわち、新材と古材とは、絶乾含水率附近に於ては略々

第8表 各含水率階に於ける静的吸収エネルギーの面積比

含水率	法隆寺古材	木曾産檜
2.0	100	100
11.0	75	114
11.5	67	124
27.8	52	132
35.2	45	135

近似の値を有するが、含水率が増加するに伴って、前者は曲線状に上昇し、後者は下降すると言う逆の傾向を示している。それ故、氣乾含水率附近に於ては、古材は新材の略々 $\frac{1}{2}$ の値にしか達しないことになる。この関係は、兩材の曲線を比較したA図によつて一層明瞭に理解されるであろう。本試験に用いた供試個数は32個である。

衝撃曲げ試験に於て、新材と古材とが、かくの如く逆の傾向を示すと言うことは、頗る興味深いことである。そこで、静的曲げ試験に於ける吸収エネルギーの場合と比較するために、先に実施した曲げ試験の際の記録に基いて、新古兩材の各含水率の試片について応力歪曲線を描き、この曲線から、材料が破壊に至る迄に吸収された静的エネルギーの大きさを求めて比較して見た。撓みの大きさはダイヤルゲージによつて1/100mm迄測定し、線図は試験機附属の記録装置のものと精密に照査して描画した。その結果を含水率2%時を100として比例的に示せば第8表の如くである。これによれば、新材は含水率の増加と共に吸収エネルギーが増加し、古材



第9図 衝撃曲げ吸収エネルギーと含水率の関係

Relation of energy absorbed in impact bending and moisture content

に於ては逆に減少することを示していて、衝撃曲げ試験の場合と全く同一傾向となつた。

結局、古材は靱性が乏しくなるために、含水率が増加しても、撓性の増加よりは曲げ強度の低下の方が大きく作用するので、これが支配的因子となつて、曲線を下降せしめるに至るものと考えてよいであろう。古材の衝撃抵抗は、新材のそれに比して半減するから、その使用に當つて注意を要することは〔Ⅰ〕に於て述べたところであるが、材が濕潤状態になると、抵抗は更に低下して新材の約半にしか達しない。それ故、古材が濕潤な状態に置かれることは、腐朽に対してのみならず、強度的にも、また、避けねばならぬことである。このことは、古建築保存上特に留意を要する。例えば、深い軒の出を持ち、重い瓦を載せた古社寺の建築に於ては、屋根瓦の破損による雨漏りの如きは最も警戒を要するところであろう。

〔Ⅲ〕 比重、気乾含水率、収縮率

上記項目について行つた試験結果を示せば第9表の如くである。

(1) 比 重

比重は法隆寺材が最も大きく、奈良材及木曾材よりも13~21%大である。比重に最も大きな

第9表 比重、気乾含水率及び収縮率

Specific gravity, moisture content & shrinkage

区 分 timbers	平 年 均 幅 輪 幅 mm breadth of annual ring	秋 材 率 % percent of summer wood	気 乾 含 水 率 % moisture content	比 重 ×100 Specific gravity		収 縮 率 % Shrinkage	
				絶 乾 oven dry	気 乾 air dry	柁 目 edge	板 目 flat
1 法隆寺 古材	2.6	7	12.3	42.2	47.1	2.9	4.7
	1.3-4.1	2-11	10.3-14.3	37.9-45.8			
2 奈良産 檜	3.4	8	14.6	37.5	43.0	2.6	5.6
	1.9-4.8	2-17	12.4-16.1	34.4-41.6			
3 木曾産 檜	1.3	9	13.8	35.0	39.8	2.4	6.1
	1.0-1.6	6-17	12.3-15.9	33.0-38.2			

1: old timbers, 2, 3: new timbers

影響を与える因子の一つは秋材量であるが、第9表の秋材率の欄を参照すれば明かな如く、法隆寺材が最も少いから、古材の比重の大きい原因を秋材によるものと考えすることは適當ではない。また、この供試材は建築構造の上から見て、創建当初から荷重を受けていたとは考えられないから、多年に亙る圧縮荷重の故に、材が緻密化したと考えることも妥當ではない。然らばこの理由は何によるものであろうか。比重の如く比較的偏差の大きいものについて、第9表の結果から、直ちに古材の比重は新材よりも大きくなる傾向があると断定することには異論の存するところであろう。然し乍ら、先に久保博士⁸⁾が法隆寺古材の材質の経年変化を調査された際にも、材が古くなる程比重は大となることを認められて居り、また、三好博士¹⁰⁾の試験結果も略々同様の傾向を示しているので、(註。創建当初から現代に至る間の4時代の材について調

査された結果は、最古のものを除いた残りの3者については同様の傾向が認められる。) 比重増加の傾向は、古材の材質変化に於ける一つの特徴と見做することが出来る様である。この理由については明かではないが、各種強度の変化と密接な関聯を有すべく、その機構については、尙今後の研究に俟たねばならぬところである。

(2) 気乾含水率

法隆寺材最も低く、新材は1.5~2.3%古材よりも高い値を示した。久保博士は20°C 75%の空气中に於て、絶乾から平衡状態に達する迄の吸湿の時間的経過を測定されたが、年代の古い材程、吸湿量の減少することを認められている。これは本試験の結果と同じ傾向を示すものである。先に述べた如く繊維飽和点に就ても古材が低かつた。従つて、木材は古くなると、水分に対する性質に於てもまた、変化を生じて来るものと考えてよいであろう。その詳細については明かではない。

(3) 収 縮 率

その結果は、板目収縮に於ては古材が最小で、奈良材、木曾材の順となり、柁目収縮に於ては板目の場合と反対の結果を示した。各材について、板目と柁目の収縮率の比を示せば、法隆寺材1.6, 奈良材2.2, 木曾材2.5である。以上の数値のみによつて判断すれば、材が古くなれば、板目収縮率と柁目収縮率とが接近して、その差が僅少になる傾向があると言う事が出来る様である。然し乍ら、久保博士⁸の実験結果によれば、板目、柁目とも、古い材程収縮率が大となり、繊維方向はこれと逆の傾向にあると述べられて居り、また、加納氏⁴は北海道の古寺に使用されて58年以上を経過したトドマツの柱材について調査された結果、古材は新材よりも何れの方にも収縮率が減少し、その低減度は、板目、柁目及び繊維方向の順序であると発表されている。本試験の結果は上記両試験結果の折衷的な傾向を示した。この様に異つた結果の出たのは、如何なる理由に基くものなりや明かでない。今後、他の古材についても、尙綿密な調査を実施して、これを明かにし度い考えである。

V 摘 要

木材の老化を探究する目的で、古材の機械的性質を試験して、新材と比較検討した。古材の試験片には、法隆寺建築用材として約1,300年を経過したヒノキを用い、新材としては、古材と同産地と見做される奈良産のヒノキ及び保存工事に使用されている木曾産のヒノキを用いた。その結果は次の如くである。

〔I〕 各種強度

各種強度について試験した総合結果は第7表の如くである。古材は圧縮強度、曲げ強度、曲げヤング係数及び硬度に於て強く、衝撃曲げ、剪断、割裂強度に於て弱い。強度増加の傾向の著しいのは、圧縮強度及び硬度であるのに対し、減少の傾向著しいのは衝撃曲げで、古材は新材の約1/2にしか達しない。このことは、長い歳月を経過したヒノキは、その材質が硬くして強

く、且つ剛くなるが、靱性は逆に減少して、脆く且割れ易くなることを意味している。各試験に於ける試片の破壊型は、よくこのことを証明した。

〔Ⅱ〕 含水率と強度との関係

含水率の強度に及ぼす影響が、古材と新材とに於て如何に相違するかの関係を探究した。その試験結果は次の如くである。

(1) 圧縮試験

含水率の変化に伴う圧縮強度の増減の関係は、古材も新材も略々同様の傾向を有するが、全般を通じて、古材は新材よりも約15~35%大なる値を示している。(第6図)

(2) 曲げ試験

含水率と曲げ強度の関係も、古材と新材とは、圧縮の場合と略々同様の傾向を示し、古材は新材よりも、常に約5~20%強い。含水率の増加に伴う剛性の低下率は、古材の方が新材よりも大である。(第7図、第8図)

(3) 衝撃曲げ試験

含水率の増加に伴い、新材の衝撃吸収エネルギーは増大するが、古材のそれは逆に減少する。このことは、古材と新材とが强度的に著しく異つた点である。湿潤状態に於ける古材の衝撃抵抗は最も小さく、同じ状態にある新材の約1/2にしか達しない。(第9図)

(4) 繊維飽和点

強度——含水率の関係から求めた繊維飽和点は、古材の方が4%低い。(第6図、第7図)

〔Ⅲ〕 比重、気乾含水率、収縮率

(1) 比 重

古材は新材よりも13~21%大きい値を示した。既往の試験に於ても、同様の傾向が認められているから、古材の比重は増大すると考えることが出来る様である。

(2) 気乾含水率

古材は新材より1.5~2.5%低い。これは先に述べた繊維飽和点の低いことと関係して、古材の水分に対する特性を示すものと思われる。

(3) 収 縮 率

板目収縮率に於ては古材が最小で、奈良材、木曾材の順となり、柁目収縮率に於ては、板目の場合と反対の順序になつた。古材の収縮率については、尙検討を要するものがあるので、更に他の古材による多数の調査の結果を俟つて報告する予定である。

終りに、実験に際して、終始熱心に援助された本学助手江見理一君に謝意を表する。

Résumé

In this studies the mechanical properties of old timbers were tested in comparison with new timbers to research the change of Properties of wood for many years. The test

pieces were taken from Horyuji Temple which was build of wood (*Chamaecyparis obtusa* ENDLICHER) for about 1,300 years ago. The results obtained by this test are as follows.

〔I〕 Various mechanical strength.

The strength are shown on table 7.

〔II〕 Relation of Various mechanical strength and moisture content.

(1) Result of compression test is shown in fig. 6.

(2) Result of bending test is shown in fig. 7 and 8.

(3) Result of impact bending test is shown in fig. 9.

〔III〕 Specific gravity, moisture content and shrinkage.

Results are shown on table 9.

引 用 文 献

- (1) BRUNN, G.: Festigkeitseigenschaften alten Kiefernbaumholzes, Forstarchiv, Heft 11, 1932.
- (2) GARRAT, G. A.: Cited by H. E. Desch, Timber, p. 95, 1948.
- (3) 福山敏男: 日本建築史の研究, 昭和18年。
- (4) 加納孟: トドマツ古材の伸縮性について, 北海道林業試験集報第68号, 昭和24年。
- (5) KOLLMANN, F.: Technologie des Holzes, p. 97, 1936.
- (6) 小原二郎: 法隆寺建築古材の強度に関する研究(第1報) 日本林学会 関西支部大会 講演集, 昭和25年。
- (7) ———: 法隆寺建築古材の強度に関する研究(第2報) 昭和26年 日本林学会大会 講演集, 昭和26年。
- (8) 久保輝一郎: 法隆寺古材の研究, 東京工大, 昭和18年。
- (9) 三好東一: 木材叢話, 御料林, 第73号, 昭和9年。
- (10) ———: 法隆寺建造古材に就いて, 御料林, 第92号, 昭和11年。
- (11) 柴田常恵: ひのき分布考, 帝室林野局, 昭和12年。
- (12) 田中文雄: 繊維飽和点に関する一考察, 日本林学会誌, 第17巻, 第7号, 昭和10年。
- (13) TIEMANN, H. D.: Effect of moisture on the properties of wood, U. S. A. D. A. For. Ser. Bull. 70, 1906.